

> derniers, ils correspondent à certaines solutions des équations de la relativité générale. Pour les décrire de façon très simple, ce sont des trous noirs évoluant à l'envers: des trous noirs dont le film de la vie serait projeté en partant de la fin. Malgré cette différence, pour un observateur extérieur à un tel astre, il est difficile de distinguer un trou blanc d'un trou noir. Les deux sont massifs et dotés d'un champ gravitationnel attractif. Ils peuvent donc tous deux soutenir un disque d'accrétion et être entourés d'objets en orbite. Mais si l'on voyait le «trou» expulser une gerbe de matière, on saurait aussitôt qu'il s'agit d'un trou blanc.

La différence serait tout aussi évidente si, d'aventure, un vaisseau spatial s'approchait du bord d'un tel astre. Dans le cas du trou noir, il pourrait y pénétrer, mais il serait alors piégé par le champ gravitationnel intense, incapable d'en ressortir. Même la lumière est incapable de fuir hors d'un trou noir, d'où son nom. À l'inverse, avec un trou blanc, le vaisseau serait incapable de pénétrer dans l'astre. Lors de son approche, il rencontrerait un flot de matière sortante et il lui faudrait une énergie infinie pour pénétrer dans le trou blanc.

NÉS D'ÉTOILES EN FIN DE VIE

Nous savons comment des trous noirs peuvent naître. Par exemple, lorsqu'une étoile très massive arrive en fin de vie, son «carburant» s'épuise et elle s'effondre sous son propre poids. Dans une explosion gigantesque, une supernova, les couches externes de l'astre sont projetées dans le milieu interstellaire, tandis que son cœur se comprime et devient si dense qu'il forme un trou noir. Ce dernier est délimité par un «horizon» qui marque la frontière à partir de laquelle il est impossible de ressortir.

Quant aux trous blancs, à l'inverse, on imaginait difficilement comment de tels objets pouvaient se former. D'où les doutes sur leur existence. Comme Steven Weinberg pour les trous noirs, Robert Wald, de l'université de Chicago, éminent spécialiste de la relativité générale, a écrit en 1984 dans son livre *General Relativity* qu'il n'y avait pas d'arguments pour penser qu'il existe des trous blancs.

Cependant, un certain nombre de physiciens, dont je fais partie, commencent à prendre au sérieux la possibilité que les trous blancs existent réellement: ils se formeraient à la fin de la vie d'un trou noir. Ce dernier pourrait mourir et se transformer en trou blanc. La matière et l'énergie tombées dans le trou noir réémergeraient alors en sortant du trou blanc.

Cette idée vient naturellement dans le cadre de la théorie sur laquelle je travaille, la «gravitation quantique à boucles». Et elle apporte une réponse à deux questions ouvertes que les physiciens tentent de résoudre depuis des décennies.

La première est: que se passe-t-il au centre d'un trou noir? Les observations astronomiques nous révèlent que de grandes quantités de matière tombent en spirale sur un trou noir. Toute cette matière continue sa chute vers le centre de l'astre. Mais après, peut-elle s'y accumuler à l'infini?

La deuxième question est: que se passe-t-il quand un trou noir termine sa vie? Dans les années 1970, Stephen Hawking a montré que les trous noirs émettent un rayonnement, dit de Hawking (voir l'encadré ci-dessous), ce qui les conduit à perdre lentement leur masse jusqu'à devenir très petits. Que se passe-t-il ensuite? Nul ne le sait.

La relativité générale d'Einstein explique très bien le comportement observé des trous noirs, mais elle est insuffisante pour répondre à ces deux questions. Cette théorie décrit la dynamique de la matière et de l'espace-temps: la matière se déplace en fonction de la géométrie de l'espace-temps, tandis que l'espace-temps se déforme en présence de matière. L'espace-temps n'est donc plus un cadre passif où s'inscrit la réalité: sa géométrie, variable, détermine les mouvements de la matière d'une telle façon qu'on les interprète comme étant

RAYONNEMENT DE HAWKING

La physique quantique implique que le vide est en fait le siège d'une formidable activité: des paires particule-antiparticule apparaissent spontanément et s'annihilent très vite ①. C'est le principe d'incertitude de Heisenberg qui autorise cette violation temporaire de la conservation de l'énergie. En 1974, Stephen Hawking a remarqué que si une paire est créée juste au-dessus de l'horizon d'un trou noir, une particule tombe dans le trou noir tandis que l'autre s'échappe; elles ne peuvent donc plus s'annihiler ②. Pour un observateur lointain, le trou noir semble émettre un rayonnement. Le trou noir perd ainsi de la masse: il s'évapore.

